

(19)



(11)

EP 1 839 069 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
02.04.2014 Patentblatt 2014/14

(51) Int Cl.:
G01S 5/02 (2010.01) G01S 3/48 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06707748.7**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2006/050292

(22) Anmeldetag: **18.01.2006**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2006/077229 (27.07.2006 Gazette 2006/30)

(54) **VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER ORIENTIERUNG EINER ANTENNENANORDNUNG**

METHOD FOR DETERMINING THE ORIENTATION OF AN ANTENNA ASSEMBLY

PROCÉDÉ POUR DÉTERMINER L'ORIENTATION D'UN DISPOSITIF D'ANTENNES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(74) Vertreter: **Kaminski Harmann**
Patentanwälte AG
Landstrasse 124
9490 Vaduz (LI)

(30) Priorität: **22.01.2005 EP 05001286**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 437 372 WO-A-99/23505
US-A- 5 296 861 US-A- 5 548 293
US-A- 5 561 432

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.10.2007 Patentblatt 2007/40

(73) Patentinhaber: **Leica Geosystems AG**
9435 Heerbrugg (CH)

• **HILL C D ET AL: "An optimal ambiguity resolution technique for attitude determination" POSITION LOCATION AND NAVIGATION SYMPOSIUM, 1996., IEEE 1996 ATLANTA, GA, USA 22-26 APRIL 1996, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 22. April 1996 (1996-04-22), Seiten 262-269, XP010163386 ISBN: 0-7803-3085-4 in der Anmeldung erwähnt**

(72) Erfinder:
• **EULER, Hans-Jürgen**
9435 Heerbrugg (CH)
• **HILL, Craig D.**
9436 Balgach (CH)

EP 1 839 069 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Orientierung einer Antennenanordnung für ein satellitengestütztes Positionierungssystem nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Computerprogrammprodukt nach Anspruch 13.

[0002] Bei der Bestimmung von Positionen bzw. Orientierungen mittels satellitengestützter Positionierungssysteme werden durch Antennen bzw. Empfänger Signale von Satelliten empfangen, aus denen die Position der Antenne bestimmt werden kann. Wird diese Antenne beispielsweise an einem Fahrzeug angebracht, so kann die Position dieses Fahrzeugs bestimmt werden. Durch die Verwendung mehrerer Antennen können deren Positionen und damit weitere Informationen über die Orientierung des Fahrzeugs erhalten werden. Durch die Verwendung von mindestens 3 fahrzeugfesten Antennen mit einer bekannten geometrischen Anordnung ist es schliesslich grundsätzlich möglich, die dreidimensionale Orientierung des Fahrzeugs abzuleiten, sofern die Antennen nicht linear angeordnet sind und wobei die Verbindungslinie zwischen zwei Antennen jeweils eine Basislinie definiert. Allerdings werden zumeist Anordnungen mit 4 Antennen eingesetzt, da die zusätzliche Antenne Redundanz und weitere Sicherheit in das System einbringt. Um eine hinreichend präzise Positionsbestimmung im Bereich der Trägerwellenlänge des empfangenen Signals durchzuführen, müssen Phasenmehrdeutigkeiten aufgelöst werden, da von den Antennen nur eine Verschiebung der Phasen detektiert wird. Die Auflösung dieser Phasenmehrdeutigkeit kann durch die Verwendung weiterer Antennen verbessert bzw. beschleunigt werden.

[0003] Da im Regelfall mindestens 3 Antennen Signale von mindestens 4 Satelliten empfangen werden, resultiert ein kombinatorisches Problem. Zur Lösung von kombinatorischen Problemen werden allgemein Verfahren eingesetzt, die aus der Gesamtzahl der zulässigen Lösungen, z.B. mittels Least-Square-Fit oder statistischer Verfahren, die optimale Lösung auswählen. Da jedoch die Gesamtzahl der zu untersuchenden Lösungen im Regelfall sehr gross ist und, insbesondere bei dynamischen Anwendungen, die Lösung solcher kombinatorischer Probleme sehr rechenintensiv ist, besteht ein Bedürfnis, die verwendeten Algorithmen effizient zu gestalten. Somit besteht ein Interesse daran, die Gesamtzahl der zu untersuchenden Lösungen unter Nutzung von verfügbaren Informationen als Nebenbedingungen bzw. Restriktionen einzuschränken, so dass aus einer Menge von möglichen Lösungen sukzessive Kandidaten eliminiert werden, bis die verbleibende Lösung die Position bzw. die Orientierung bestimmt.

[0004] Eine geeignete Möglichkeit zur Einschränkung der Gesamtzahl zu untersuchender Kandidaten ist die Ableitung von Restriktionen aus a priori bekannten Informationen, wie z.B. der bekannten geometrischen Anordnung der Antennen, oder aus Plausibilitätsannahmen, wie z.B. einer Höchstgrenze für die Neigung eines Fahrzeugs gegenüber der Horizontalen.

[0005] Verfahren zur Auflösung der Phasenmehrdeutigkeit werden beispielsweise aus Euler, H.-J. "GPS Attitude Determination: Utilizing Auxiliary Information to obtain Improved Results", 3rd. Int. Workshop, "High Precision Navigation", 3.-5. April 1995, Stuttgart und Euler, H.-J., Hill, Craig D., "Attitude Determination: Exploiting all Information for Optimal Ambiguity Resolution" ION GPS 95, 12.-15. September 1995, Palm Springs, Kalifornien, beschrieben.

[0006] In diesen Veröffentlichungen werden topozentrische, d.h. lokale Koordinatensysteme zur optimalen Ausnutzung von bekannten Informationen verwendet. In die Auswertung bzw. Einschränkung des Lösungsraums wird die Geometrie zwischen jeweils zwei Antennen, insbesondere deren Abstand und Höhenunterschied, einbezogen, allerdings bleibt die Berechnung der Orientierung einer Basislinie im Raum aufwendig.

[0007] Ein geeigneter Ansatz zur sukzessiven Einschränkung des Lösungsraumes ist beispielsweise aus Hill, Craig D., Euler, H.-J. "Optimal Ambiguity Resolution Technique for Attitude Determination" Proceedings of the 1996 IEEE Position Location and Navigation Symposium, PLANS, Atlanta, GA, USA, Seiten 262-269, bekannt.

[0008] Ein herkömmliches Basislinienverfahren beruht auf dem folgenden System von linearisierten Gleichungen für einfache Differenzen

$$\begin{aligned}
 \Delta\phi_{12}^1 &= dt + (x_1^1 dx_1 + x_2^1 dx_2 + x_3^1 dx_3) / \lambda + N^1 \\
 \Delta\phi_{12}^2 &= dt + (x_1^2 dx_1 + x_2^2 dx_2 + x_3^2 dx_3) / \lambda + N^2 \\
 \Delta\phi_{12}^3 &= dt + (x_1^3 dx_1 + x_2^3 dx_2 + x_3^3 dx_3) / \lambda + N^3 \\
 \Delta\phi_{12}^4 &= dt + (x_1^4 dx_1 + x_2^4 dx_2 + x_3^4 dx_3) / \lambda + N^4
 \end{aligned} \tag{1}$$

wobei

$\Delta\phi_{12}^i$ die beobachtete Einfachdifferenz der Stationen 1 und 2 zum Satelliten i,

dt die Empfängeruhrdifferenz,

5 x_j^i j-te Komponente des zum Satelliten i weisenden Einheitsvektors,

λ Wellenlänge der Trägerphase,

dx_j j-te Komponente des unbekannten Positionsvektors der zweiten Antenne und

N^i die dem Satelliten i zugeordnete ganzzahlige Phasenmehrdeutigkeit der Einfachdifferenz bezeichnen.

10 **[0009]** Dieses System aus 4 Gleichungen liefert, sofern die Phasenmehrdeutigkeit aufgelöst bzw. bestimmt wird, die relativen Positionen der Phasenzentren der beiden Antennen. Die jeweiligen Koordinaten können nachfolgend in die Ausrichtung der Basislinie transformiert werden, so dass über die Orientierung der Antennenanordnung auch die Orientierung eines damit verbundenen Körpers abgeleitet werden kann. Jede ganzzahlige Phasenmehrdeutigkeit, die eine Lösung für die relativen Koordinaten liefert, welche innerhalb einer Kugel mit dem Radius der Basislänge liegt, ist ein

15 Kandidat für das richtige Ergebnis. Zusätzlich soll die Kombination die - bekannte - Länge der Basislänge mit einer nur minimalen Abweichung reproduzieren.

[0010] Stehen hinreichende Messungen zur Verfügung, können die Phasenmehrdeutigkeiten gelöst werden, z.B. durch die Methode der kleinsten Fehlerquadrate oder Verfahren der ganzzahligen bzw. gemischt-ganzzahligen Optimierung.

20 **[0011]** Ein Ansatz zur sukzessiven Einschränkung des Lösungsraumes durch Eliminierung von Kandidaten basiert auf der schon erwähnten Nutzung von Informationen über die Geometrie der Antennenanordnung.

[0012] In einem topozentrischen Bezugssystem kann der Vektor der Basislinie gemäss

$$\begin{aligned} \vec{b} &= (e; n; u) \\ b &= \sqrt{e^2 + n^2 + u^2} \end{aligned} \quad (2)$$

30 beschrieben werden, wobei e, n, u jeweils die Ost-, Nord- und Höhenkomponente der Basislinie bezeichnen.

[0013] Allgemein kann die Beobachtungsgleichung der Einzeldifferenz für die Basislinie zwischen den Antennen A1 und A2 wie folgt angegeben werden

$$\Delta_{Li} \lambda_{Li} \phi_{01}^{Sn} = e_{01} \frac{e^{Sn}}{\rho_0^{Sn}} + n_{01} \frac{n^{Sn}}{\rho_0^{Sn}} + u_{01} \frac{u^{Sn}}{\rho_0^{Sn}} + \lambda_{Li} N_{01}^{Sn} + c_{Li} t_{c_{01}} \quad (3)$$

40 wobei

$\Delta_{Li} \lambda_{Li} \phi_{01}^{Sn}$ die Einfachdifferenz einer Trägerphasenmessung für die Frequenz Li, z.B. der Frequenz L1 oder

45 L2 des GPS-Systems, und den Satelliten Sn zwischen den Antennen A0 und A1,

e_{01}, n_{01}, u_{01} die Ost-, Nord- und Höhenkomponente der Basislinie zwischen den Antennen A0 und A1,

$\frac{e^{Sn}}{\rho_0^{Sn}}, \frac{n^{Sn}}{\rho_0^{Sn}}, \frac{u^{Sn}}{\rho_0^{Sn}}$ die topozentrischen Einheitsvektoren zum Satelliten Sn,

50 λ_{Li} die Wellenlänge der Frequenz Li,

N_{01}^{Sn} die Trägerphasenmehrdeutigkeit der Einfachdifferenz für den Satelliten Sn und die Frequenz Li,

c die Vakuumlichtgeschwindigkeit und

55 $t_{c_{01}}$ die Zeitdifferenz der Empfängeruhren für die Frequenz Li und die Basislinie zwischen den Antennen A0 und A1 bezeichnen.

[0014] Mit einer hinreichenden Zahl von Messungen zu Satelliten, z.B. zu vier in günstiger Anordnung stehenden

Satelliten, und einer Auswahl von geeigneten Werten für die Phasenmehrdeutigkeit können die Ost-, Nord- und Höhenkomponente der Basislinie berechnet werden.

[0015] Zur Einschränkung des Lösungsraums können nun die Informationen über die Geometrie der Antennenanordnung oder aber Plausibilitätsannahmen genutzt werden. Beispielsweise ist die Länge der Basislinie bekannt und es kann die maximale Neigung eines Fahrzeugs und damit der damit verbundenen Antennenanordnung beschränkt werden.

[0016] Die Höhenkomponente genügt damit der Ungleichung

$$u = \sqrt{b^2 - e^2 - n^2} \leq b \cdot \sin(\gamma_{\max}) \quad (4)$$

so dass die horizontale Komponente der Basislinie gemäss

$$b \geq \sqrt{e^2 + n^2} \geq b \cdot \cos(\gamma_{\max}) \quad (5)$$

[0017] folgt, wobei $\gamma_{\max}$ den maximal zulässigen Neigungswinkel gegenüber der Horizontalen bezeichnet. Für einen Beispielwert von 15° folgt dann

$$u = \sqrt{b^2 - e^2 - n^2} \leq b \cdot \sin(15^\circ) \approx b \cdot 0,2588$$

$$b \geq \sqrt{e^2 + n^2} \geq b \cdot \cos(15^\circ) \approx b \cdot 0,9659$$

[0018] Durch diese Längen- und Neigungsrestriktionen können Kandidaten für Basislinien ausgeschlossen werden, welche die maximal zulässige Neigung überschreiten und so die Anzahl der möglichen Kandidaten für die korrekte Lösung reduziert werden. Ein anderes Beispiel für eine Restriktion stellt die Berechnung von Varianzen aus Messungen zu mehr als vier Satelliten oder für mehrere Trägerfrequenzen dar. Überschreitet der Wert eines Kandidaten den entsprechenden Bereich der Varianz, so erfolgt eine Eliminierung.

[0019] Da die Bestimmung nur einer Basislinie einen Freiheitsgrad unbestimmt lässt, muss im Regelfall stets eine zweite bzw. sekundäre Basislinie, z.B. zwischen den Antennen A0 und A2, bestimmt werden, die auch den rotatorischen Freiheitsgrad um die erste bzw. primäre Basislinie festlegt.

[0020] Ein möglicher Ansatz besteht nun darin, zuerst primäre Basislinien zu berechnen, welche eine erste Menge von Kandidaten darstellen, mit deren Hilfe eine Auflösung der Phasenmehrdeutigkeit erfolgen kann. Aus dieser Menge werden in einem ersten Schritt durch Restriktionen Kandidaten eliminiert. Gegebenfalls kann auch bereits während der Berechnung dieser Kandidaten für die primären Basislinien eine Berücksichtigung der Restriktionen erfolgen, so dass die Menge nur aus bereits vorselektierten Kandidaten gebildet wird.

[0021] Für die nicht eliminierten Kandidaten werden nun Lösungen für zugehörige sekundäre Basislinien berechnet, die eine zweite, den Kandidaten der ersten Menge zugeordnete zweite Menge bilden. Hierbei sind diese Lösungen für die primäre und sekundäre Basislinie durch eine gemeinsame Antenne (z.B. die Antenne A0 für die Basislinien A0-A1 und A0-A2) verbunden und damit zugeordnet. Grundsätzlich können jedoch auch Basislinien mit zwei getrennten Antennenpaaren berechnet werden. Die Zuordnung erfolgt dann durch die Kenntnis der Geometrie der Antennenanordnung.

[0022] Für die berechneten Lösungen der sekundären Basislinien erfolgt wiederum eine Eliminierung anhand der für diese gültigen Restriktionen. Werden für einen Kandidaten einer primären Basislinie alle zugehörigen Lösungen für sekundäre Basislinien eliminiert, kann auch der Kandidat für die erste Basislinie aus der ersten Menge entfernt werden.

[0023] Zur Bestimmung der korrekten Phasenmehrdeutigkeiten müssen damit Lösungen für diese Basislinien in grösserer Anzahl bestimmt werden, bevor eine Eliminierung erfolgen kann. Eine Erzeugung dieser Lösungen erfordert jedoch einen Rechenaufwand, der die Schnelligkeit der Auflösung der Phasenmehrdeutigkeit und damit der Bestimmung der Orientierung beeinflusst.

[0024] Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren bereitzustellen, das eine verbesserte Berechnung von Lösungen einander zugeordneter Basislinien ermöglicht.

[0025] Eine weitere Aufgabe besteht darin, eine schnellere Auflösung der Phasenmehrdeutigkeit zu ermöglichen.

[0026] Die Ermöglichung einer erhöhten Komplexität der Auflösung der Phasenmehrdeutigkeit bzw. der verbesserten Genauigkeit bei gleichbleibender Schnelligkeit stellt eine weitere Aufgabe dar.

[0027] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäss durch die Merkmale des Anspruchs 1 sowie durch die Merkmale der Unteransprüche gelöst bzw. die Lösungen fortgebildet.

[0028] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Orientierung einer Antennenanordnung für ein satellitengestütztes Positionierungssystem bei dem eine verbesserte Berechnung von Lösungen sekundärer Basislinien erfolgt.

[0029] In den Verfahren des Stands der Technik werden Lösungen für Basislinien voneinander unabhängig bestimmt und danach anhand von Restriktionen eliminiert. Eine geeignete Restriktion stellt der aus der Geometrie der Antennenanordnung bekannte Winkel zwischen den Basislinien dar. Paare von Basislinien, die dieser Restriktion nicht genügen, werden aus der Menge möglicher Lösungen eliminiert. Für diesen Ansatz müssen jedoch alle Lösungen für Basislinien unabhängig voneinander generiert und danach in Beziehung gesetzt werden.

[0030] Aufgrund der bekannten Geometrie der Antennenanordnung können jedoch die primäre Basislinie und weitere Basislinien miteinander in Beziehung gesetzt werden. Insbesondere ist es möglich, den rotatorischen Freiheitsgrad der relativen Lage von sekundärer Basislinie zu primärer Basislinie, somit als Rotation der sekundären Basislinie um die primäre Basislinie als Achse, durch einen Winkel zu parametrisieren. Damit wird diese relative Lage durch einen einzigen unbekannten Parameter beschrieben, wobei die Längen sowie der Öffnungswinkel der beiden Basislinien bekannt sind.

[0031] Die Ost-, Nord- und Höhenkomponente der sekundären Basislinie zwischen den Antennen A0 und A2 sind dann wie folgt gegeben

$$\begin{aligned}
 e_{02} &= \left(\cos \beta \frac{n_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} - \sin \beta \frac{u_{01}}{s_{01}} \frac{e_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} \right) s_{02} \sin \alpha_{012} + \frac{e_{01}}{s_{01}} s_{02} \cos \alpha_{012} \\
 n_{02} &= \left(-\cos \beta \frac{e_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} - \sin \beta \frac{u_{01}}{s_{01}} \frac{n_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} \right) s_{02} \sin \alpha_{012} + \frac{n_{01}}{s_{01}} s_{02} \cos \alpha_{012} \quad (6) \\
 u_{02} &= \left(\sin \beta \frac{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}}{s_{01}} \right) s_{02} \sin \alpha_{012} + \frac{u_{01}}{s_{01}} s_{02} \cos \alpha_{012}
 \end{aligned}$$

wobei

e_{01}, n_{01}, u_{01} die Ost-, Nord- und Höhenkomponente der primären Basislinie zwischen den Antennen A0 und A1,
 e_{02}, n_{02}, u_{02} die Ost-, Nord- und Höhenkomponente der sekundären Basislinie zwischen den Antennen A0 und A2,
 β den Winkel zur Parametrisierung des rotatorischen Freiheitsgrades bzw. der Rotation der sekundären Basislinie um die primäre Basislinie und
 α_{012} den Winkel zwischen primärer und sekundärer Basislinie bezeichnen.

[0032] Für den unbekannten Winkel β wird ein Bereich festgelegt, innerhalb dessen für jeden Kandidaten die Lösungen für die zugehörigen sekundären Basislinien generiert werden. D.h. die Parametrisierung erfolgt nicht bezüglich der Beschränkung des Wertebereichs bei der Auswahl aus existierenden Lösungen sondern wird erfindungsgemäss bei der Erzeugung von Kandidaten verwendet, auf die später erst Einschränkungen und Auswahlverfahren angewendet werden. Beim Erzeugen der Lösungen kann der Freiheitsgrad durch Vorgabe eines zulässigen Wertebereichs des Parameters beschränkt werden. Statt einer unbeschränkten Erzeugung mit einer späteren Auswahl erfolgt bereits eine beschränkte Erzeugung von Kandidaten, deren Zahl dann in einem weiteren Schritt verringert wird.

[0033] Die Suche in dem Winkel β zugeordneten Raum ist dabei vorteilhafter als eine Suche im Raum der Lösungen von Phasenmehrdeutigkeiten, da eine deutlich geringere Zahl von Lösungen analysiert werden muss. Beispielsweise erfordert ein Suchfenster von $\pm n$ Perioden die Berechnung und Analyse von $(2n+1)^3$ Lösungen, was für ± 15 Perioden immerhin 29791 Basislinien bedeutet. Im Vergleich dazu erfordert die Suche im Winkelraum die Berechnung von $(2n+1)$ Basislinien und damit für einen Bereich von $\pm 15^\circ$ mit einer Teilung mit $0,5^\circ$ -Schritten die Erzeugung von nur 61 Lösungen.

[0034] Damit besitzt das erfindungsgemässe Verfahren durch die Verknüpfung der möglichen Orientierung der sekundären Basislinie mit der primären Basislinie Vorteile gegenüber Verfahren des Stands der Technik, bei denen die Ba-

sislinien unabhängig voneinander ermittelt werden. Erleichtert wird diese Verknüpfung durch eine Formulierung der Basislinien in einem topozenrischen Bezugssystem, das eine einfache Ausnutzung der bekannten geometrischen Verhältnisse der Antennenanordnung erlaubt. Insbesondere kann so die Definition bzw. Bezugsetzung des Winkels der Rotation von sekundärer um primärer Basislinie erfolgen.

[0035] Dabei ist die erfindungsgemässe Erzeugung von Lösungen der sekundären Basislinien nicht auf die oben beschriebene Folge von Verfahrensschritten eingeschränkt. Insbesondere können Eliminierungsschritte auch in anderer Reihenfolge erfolgen. So ist beispielsweise die Reihenfolge der Einführung von Restriktionen variabel gestaltbar. Eine Einschränkung des Suchraums durch Eliminierung von Kandidaten auf der Basis von sekundären Basislinien kann daher grundsätzlich auch vor einer Nutzung z.B. der Neigungsrestriktion für die Kandidaten der primären Basislinien erfolgen. Allerdings wird die Reihenfolge zumeist durch die Effizienz des Eliminierungsvorganges bzgl. des Rechenaufwands weitgehend vorgegeben werden.

[0036] Das erfindungsgemässe Verfahren wird nachfolgend anhand von Zeichnungen schematisch dargestellt und rein beispielhaft näher beschrieben. Im einzelnen zeigen

Fig.1 ein Beispiel für eine Antennenanordnung mit 4 Antennen;

Fig.2 die schematische Darstellung der Basislinien für die Antennenanordnung mit 4 Antennen;

Fig.3-5 die schematische Darstellung der Einschränkung eines Suchraums und

Fig.6 die schematische Darstellung geometrischen Verhältnisse zwischen primärer und sekundärer Basislinie.

[0037] In Fig.1 wird schematisch der Aufbau einer Antennenanordnung mit vier Antennen 1 für ein satellitengestütztes Positionierungssystem auf einem Fahrzeug 2 dargestellt. In diesem Beispiel erfolgt die Anbringung auf dem Dach des Fahrzeugs 2. Aufgrund der festen Zuordnung von Antennen 1 und Fahrzeug 2 kann aus der Orientierung der Antennenanordnung auf die Orientierung des Fahrzeugs 2 geschlossen werden.

[0038] Fig.2 zeigt die geometrischen Verhältnisse zwischen vier Antennen A0, A1, A2 und A3 einer Antennenanordnung sowie die hierdurch definierten Basislinien. Wird als primäre Basislinie S01 die Verbindungslinie zwischen den Antennen A0 und A1 gewählt, so definieren die Verbindungslinien zwischen den Antennen A0 und A2 sowie A0 und A3 die sekundären Basislinien S02 und S03.

[0039] Fig.3-5 erläutern die sukzessive Einschränkung des Suchraums für zulässige Lösungen.

[0040] Fig.3 stellt den noch nicht restringierten Suchraum für isolierte Lösungen der Phasenmehrdeutigkeiten dar. Die Lösungen sind um eine approximierte Position für eine Lösung der Pseudoentfernung zu den Satelliten eines satellitengestützten Positionierungssystems lokalisiert, wobei der Abstand der Seitenteilung des Raumes jeweils 2 Meter beträgt. Durch die Kreuze werden unterschiedliche Kombinationen für die Phasenmehrdeutigkeit bezeichnet, die damit zu analysierende Kandidaten darstellen. In diesem

[0041] Beispiel beinhaltet der Suchraum in Fig.3 zulässige 4913 Lösungen.

[0042] Durch die Kenntnis der Distanz zwischen zwei Antennen wird eine primäre Basislinie definiert und eine Restriktion festgelegt, die als einzuhaltende Nebenbedingung den Raum der zulässigen Lösungen verringert. Dieser beinhaltet nach der Nutzung dieser Information, wie in Fig.4 dargestellt, immer noch 117 potentielle Kandidaten.

[0043] Die Einführung einer weiteren Restriktion führt zu der in Fig.5 abgebildeten Einschränkung des Raums der zulässigen Lösungen. Durch die Festlegung der maximalen Neigung gegenüber der Horizontalen wird die Zahl der Kandidaten in diesem Beispiel auf 66 reduziert. Um diese Zahl noch weiter zu reduzieren, müssen weitere Restriktionen hinzugefügt werden. Eine Möglichkeit stellt die Berücksichtigung weiterer, sekundärer Basislinien dar.

[0044] Ein erfindungsgemässes Modell zur Berechnung dieser sekundären Basislinien in Verknüpfung mit der primären Basislinie wird in Fig.6 dargestellt. Durch die Antennen A0 und A1 werden die Endpunkte der primären Basislinie S01 und durch die Antennen A0 und Ax werden die Endpunkte der sekundären Basislinie S0x festgelegt. Aus der Kenntnis der Geometrie der Antennenanordnung kann der Geometriewinkel α_{01x} zwischen dieser primären Basislinie S01 und der sekundären Basislinie S0x abgeleitet werden. Es verbleibt als Freiheitsgrad die Rotation der sekundären Basislinie S0x um die als Achse fungierende primäre Basislinie S01 und somit ein rotatorischer Freiheitsgrad. Diese Rotation wird durch den Winkel β parametrisiert. Die sekundären Basislinien S0x werden nun erfindungsgemäss durch Variation des Winkels in diskreten Schritten berechnet, wobei die zur Festlegung der beiden Basislinien gleichermassen genutzte Antenne A0 einen gemeinsamen Punkt bildet. Durch diesen gemeinsamen Punkt und die Kenntnis des Geometriewinkels α_{01x} werden die beiden Basislinien miteinander in Bezug gesetzt. Für die generierten sekundären Basislinien S0x werden wiederum Restriktionen abgeleitet, durch die eine Eliminierung von Lösungen erfolgt, so dass der Suchraum weiter eingeschränkt wird.

[0045] Die dargestellten Ausführungsformen stellen nur Beispiele für mögliche Antennenanordnungen dar und sind daher nicht abschliessend und einschränkend zu verstehen. Darüber hinaus kann der Fachmann weitere für ein erfin-

dungsgemässes Verfahren geeignete Antennenanordnungen ableiten, z.B. durch Anordnung in mehreren Ebenen oder in anderen geometrischen Formen. Auch können die Verfahrensschritte kombiniert bzw. integriert werden, so dass die Reihenfolge der Einschränkung des Suchraums in anderer Weise erfolgt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Orientierung einer Antennenanordnung mit wenigstens 3 Antennen (1,A0,A1,A2,A3) zum Empfang von Signalen eines satellitengestützten Positionierungssystems, wobei

- die Geometrie der Antennenanordnung bekannt ist, vorzugsweise durch eine vorab erfolgende Vermessung,
- die Verbindungslinie zwischen einer ersten Antenne (A0) und einer zweiten Antenne (A1) eine primäre Basislinie (S01) definiert und
- die Verbindungslinie zwischen der ersten Antenne (A0) und einer weiteren Antenne (Ax) eine sekundäre Basislinie (S0x) definiert,

mit einem Auflösen einer Phasenmehrdeutigkeit für die Signale, wobei für die primäre Basislinie Kandidaten zum Auflösen der Phasenmehrdeutigkeit berechnet und den Kandidaten jeweils Lösungen für die sekundäre Basislinie (S0x) zugeordnet werden,

dadurch gekennzeichnet, dass

beim Erzeugen der Lösungen der Freiheitsgrad einer Rotation der sekundären Basislinie (S0x) um die primäre Basislinie (S01) durch einen einzigen Parameter parametrisiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

beim Erzeugen der Lösungen der Freiheitsgrad der Rotation durch Vorgabe eines zulässigen Wertebereichs für den Parameter beschränkt wird.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

beim Erzeugen der Lösungen der Freiheitsgrad der Rotation der sekundären Basislinie (S0x) um die primäre Basislinie (S01) durch einen Winkel (β) parametrisiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Freiheitsgrad der Rotation der sekundären Basislinie (S0x) um die primäre Basislinie (S01) durch folgendes Gleichungssystem beschrieben wird

$$e_{0x} = \left(\cos \beta \frac{n_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} - \sin \beta \frac{u_{01}}{s_{01}} \frac{e_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} \right) s_{0x} \sin \alpha_{01x} + \frac{e_{01}}{s_{01}} s_{0x} \cos \alpha_{01x}$$

$$n_{0x} = \left(-\cos \beta \frac{e_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} - \sin \beta \frac{u_{01}}{s_{01}} \frac{n_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} \right) s_{0x} \sin \alpha_{01x} + \frac{n_{01}}{s_{01}} s_{0x} \cos \alpha_{01x}$$

$$u_{0x} = \left(\sin \beta \frac{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}}{s_{01}} \right) s_{0x} \sin \alpha_{01x} + \frac{u_{01}}{s_{01}} s_{0x} \cos \alpha_{01x}$$

wobei

e_{01}, n_{01}, u_{01} die Ost-, Nord- und Höhenkomponente der primären Basislinie (S01),
 e_{0x}, n_{0x}, u_{0x} die Ost-, Nord- und Höhenkomponente der sekundären Basislinie (S0x),
 β den Winkel zur Parametrisierung des Freiheitsgrades der Rotation und
 α_{01x} den Winkel zwischen primärer Basislinie (S01) und sekundärer Basislinie (S0x) bezeichnen.

- 5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Auflösen der Phasenmehrdeutigkeit folgende Schritte aufweist
 - Berechnen einer ersten Menge der Kandidaten zum Auflösen einer Phasenmehrdeutigkeit für die primäre Basislinie (S01),
 - Eliminieren der Kandidaten, die wenigstens einer ersten Restriktion nicht genügen, aus der ersten Menge,
 - Erzeugen einer zugeordneten Menge von Lösungen,
 - Eliminieren der Lösungen, die wenigstens einer zweiten Restriktion nicht genügen, aus der zugeordneten Menge,
 - Entfernen der Kandidaten, deren zugeordnete Menge kein Lösung enthält, aus der ersten Menge,
 - Ableiten der Orientierung der Antennenanordnung aus der ersten Menge und der zugeordneten Menge.
6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
beim Erzeugen der zugeordneten Menge ein zulässiger Wertebereich des Winkels (β) beschränkt wird, insbesondere auf den Bereich von maximal $\pm 15^\circ$ gegenüber der Horizontalen.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
beim Erzeugen der zugeordneten Menge die Lösungen für diskrete Werte des Winkels (β), insbesondere inkrementell, generiert werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
die diskreten Werte des Winkels (β) einen Abstand von $0,5^\circ$ aufweisen.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
beim Eliminieren der Lösungen als zweite Restriktion der Wertebereich des Winkels (β) beschränkt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
als erste Restriktion wenigstens eine der folgenden Größen gewählt wird
 - Länge der primären Basislinie (S01),
 - Neigungswinkel der primären Basislinie (S01) gegenüber der Horizontalen.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Länge der sekundären Basislinie (S0x) als zweite Restriktion gewählt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
beim Erzeugen der zugeordneten Menge von Lösungen für die sekundäre Basislinie (S0x) eine Prüfung erfolgt, ob eine sekundäre Basislinie (S0x) bereits in der zugeordneten Menge enthalten ist.
13. Computerprogrammprodukt als Aufzeichnung auf einem Datenträger oder in Form eines Datensignals zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

Claims

1. Method for determining the orientation of an antenna arrangement with at least 3 antennas (1, A0, A1, A2, A3) for receiving signals of a satellite-based positioning system, with

- the geometry of the antenna arrangement being known, preferably by a measurement taking place in advance,
- the connecting line between a first antenna (A0) and a second antenna (A1) defining a primary baseline (S01) and
- the connecting line between the first antenna (A0) and a further antenna (Ax) defining a secondary baseline (S0x),

with a phase ambiguity for the signals being resolved,
with candidates for resolving the phase ambiguity being calculated for the primary baseline and solutions for the secondary baseline (S0x) being assigned to the candidates in each case, **characterized in that**,
when the solutions are created, the degree of freedom of a rotation of the secondary baseline (S0x) about the primary baseline (S01) is parameterized by a single parameter.

2. Method according to Claim 1,
characterized in that,

when the solutions are created, the degree of freedom of the rotation is restricted by predefining an admissible value range for the parameter.

3. Method according to any one of the preceding claims,
characterized in that,

when the solutions are created, the degree of freedom of the rotation of the secondary baseline (S0x) about the primary baseline (S01) is parameterized by an angle (β).

4. Method according to Claim 3,
characterized in that

the degree of freedom of the rotation of the secondary baseline (S0x) about the primary baseline (S01) is described by the following system of equations:

$$e_{0x} = \left(\cos \beta \frac{n_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} - \sin \beta \frac{u_{01}}{s_{01}} \frac{e_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} \right) s_{0x} \sin \alpha_{01x} + \frac{e_{01}}{s_{01}} s_{0x} \cos \alpha_{01x}$$

$$n_{0x} = \left(-\cos \beta \frac{e_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} - \sin \beta \frac{u_{01}}{s_{01}} \frac{n_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} \right) s_{0x} \sin \alpha_{01x} + \frac{n_{01}}{s_{01}} s_{0x} \cos \alpha_{01x}$$

$$u_{0x} = \left(\sin \beta \frac{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}}{s_{01}} \right) s_{0x} \sin \alpha_{01x} + \frac{u_{01}}{s_{01}} s_{0x} \cos \alpha_{01x}$$

where

e_{01}, n_{01}, u_{01} are the East, North and height components of the primary baseline (S01),
 e_{0x}, n_{0x}, u_{0x} are the East, North and height components of the secondary baseline (S0x),
 β is the angle for parameterizing the degree of freedom of the rotation and
 α_{01x} is the angle between primary baseline (S01) and secondary baseline (S0x).

5. Method according to any one of the preceding claims,
characterized in that

the resolution of the phase ambiguity comprises the following steps:

- calculating a first set of candidates for resolving a phase ambiguity for the primary baseline (S01),
- eliminating the candidates which do not satisfy at least one of the first restrictions, from the first set,
- creating an associated set of solutions,
- eliminating the solutions which do not satisfy at least one second restriction, from the associated set,
- removing the candidates, the assigned set of which does not contain a solution, from the first set,
- deriving the orientation of the antenna arrangement from the first set and the associated set.

6. Method according to Claim 5,
characterized in that,
when the associated set is created, an admissible value range of the angle (β) is restricted, in particular to the range of at most $\pm 15^\circ$ with respect to the horizontal.

7. Method according to Claim 5 or 6,
characterized in that,
when the associated set is created, the solutions are generated for discrete values of the angle (β), in particular in incremental fashion.

8. Method according to Claim 7,
characterized in that
the discrete values of the angle (β) have a spacing of 0.5° .

9. Method according to any one of Claims 5 to 8,
characterized in that,
when the solutions are eliminated, the value range of the angle (β) is restricted as second restriction.

10. Method according to any one of Claims 5 to 9,
characterized in that
at least one of the following variables is selected as first restriction:

- length of the primary baseline (S01),
- angle of inclination of the primary baseline (S01) with respect to the horizontal.

11. Method according to any one of Claims 5 to 10,
characterized in that
the length of the secondary baseline (S0x) is selected as second restriction.

12. Method according to any one of Claims 5 to 11,
characterized in that,
when the associated set of solutions for the secondary baseline (S0x) is created, there is a test as to whether a secondary baseline (S0x) is already contained in the associated set.

13. Computer program product as recording on a data medium or in the form of a data signal for carrying out the method according to any one of Claims 1 to 12.

Revendications

1. Procédé pour déterminer l'orientation d'un dispositif d'antennes avec au moins 3 antennes (1, A0, A1, A2, A3) pour la réception de signaux d'un système de positionnement assisté par satellite,

- cependant que la géométrie du dispositif d'antennes est connue, de préférence par un relevé préalablement effectué,
- la ligne de liaison entre une première antenne (A0) et une seconde antenne (A1) définit une ligne de base primaire (S01) et
- la ligne de connexion entre la première antenne (A0) et une autre antenne (Ax) définit une ligne de base secondaire (S0x)

avec une résolution d'une ambiguïté de phases pour les signaux,
 cependant que des candidats sont calculés pour la ligne de base primaire pour la résolution de l'ambiguïté de
 phases et que des solutions pour la ligne de base secondaire (S0x) sont respectivement assignées aux candidats,
caractérisé en ce que,

lors de la production des solutions, le degré de liberté d'une rotation de la ligne de base secondaire (S0x) autour
 de la ligne de base primaire (S01) est paramétré par un seul paramètre.

2. Procédé selon la revendication 1,

caractérisé en ce que, lors de la production de solutions, le degré de liberté de la rotation est limité par la prédéfinition
 d'une plage de valeurs admissibles pour le paramètre.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que, lors de la production de solutions, le degré de liberté de la rotation de la ligne de base
 secondaire (S0x) autour de la ligne de base primaire (S01) est paramétré par un angle (β).

4. Procédé selon la revendication 3,

caractérisé en ce que le degré de liberté de la rotation de la ligne de base secondaire (S0x) autour de la ligne de
 base primaire (S01) est décrit par le système d'équations suivant :

$$e_{0x} = \left(\cos \beta \frac{n_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} - \sin \beta \frac{u_{01}}{s_{01}} \frac{e_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} \right) s_{0x} \sin \alpha_{01x} + \frac{e_{01}}{s_{01}} s_{0x} \cos \alpha_{01x}$$

$$n_{0x} = \left(-\cos \beta \frac{e_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} - \sin \beta \frac{u_{01}}{s_{01}} \frac{n_{01}}{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}} \right) s_{0x} \sin \alpha_{01x} + \frac{n_{01}}{s_{01}} s_{0x} \cos \alpha_{01x}$$

$$u_{0x} = \left(\sin \beta \frac{\sqrt{(e_{01}^2 + n_{01}^2)}}{s_{01}} \right) s_{0x} \sin \alpha_{01x} + \frac{u_{01}}{s_{01}} s_{0x} \cos \alpha_{01x}$$

cependant que

e_{01}, n_{01}, u_{01} désigne la composante est, nord et de hauteur de la ligne de base primaire (S01),

e_{0x}, n_{0x}, u_{0x} désigne la composante est, nord et de hauteur de la ligne de base secondaire (S0x),

β l'angle pour le paramétrage du degré de liberté de la rotation et

α_{01x} l'angle entre la ligne de base primaire (S01) et la ligne de base secondaire (S0x).

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que la résolution de l'ambiguïté de phases présente les étapes suivantes :

- calcul d'une première quantité de candidats pour la résolution d'une ambiguïté de phases pour la ligne de
 base primaire (S01),
- élimination des candidats qui ne satisfont pas à une première restriction de la première quantité,
- génération d'une quantité assignée de solutions,
- élimination des solutions qui ne satisfont pas à la seconde restriction de la quantité assignée,
- enlèvement des candidats dont la quantité assignée ne contient pas de solution de la première quantité,
- dérivation de l'orientation du dispositif d'antennes de la première quantité et de la quantité assignée.

6. Procédé selon la revendication 5,

caractérisé en ce que, lors de la génération de la quantité assignée, une plage de valeurs admissibles de l'angle
 (β) est limitée, en particulier à la plage de $\pm 15^\circ$ maximum par rapport à l'horizontale.

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6,

caractérisé en ce que, lors de la génération de la quantité assignée, les solutions sont générées pour des valeurs discrètes de l'angle (β), en particulier de manière incrémentielle.

8. Procédé selon la revendication 7,

caractérisé en ce que les valeurs discrètes de l'angle (β) présentent un écart de $0,5^\circ$.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes 5 à 8,

caractérisé en ce que, lors de l'élimination des solutions, comme seconde restriction la plage de valeurs de l'angle (β) est limitée.

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes 5 à 9,

caractérisé en ce qu'au moins l'une des grandeurs suivantes est sélectionnée comme première restriction :

- longueur de la ligne de base primaire (S01),

- angle d'inclinaison de la ligne de base primaire (S01) par rapport à l'horizontale.

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes 5 à 10,

caractérisé en ce que la longueur de la ligne de base secondaire (S0x) est sélectionnée comme seconde restriction.

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes 5 à 11,

caractérisé en ce que, lors de la génération de la quantité assignée de solutions pour la ligne de base secondaire (S0x), une vérification a lieu pour savoir si une ligne de base secondaire (S0x) est déjà contenue dans la quantité assignée.

13. Produit de programme d'ordinateur comme enregistrement sur un support de données ou sous forme d'un signal de données pour l'exécution du procédé selon l'une des revendications 1 à 12.

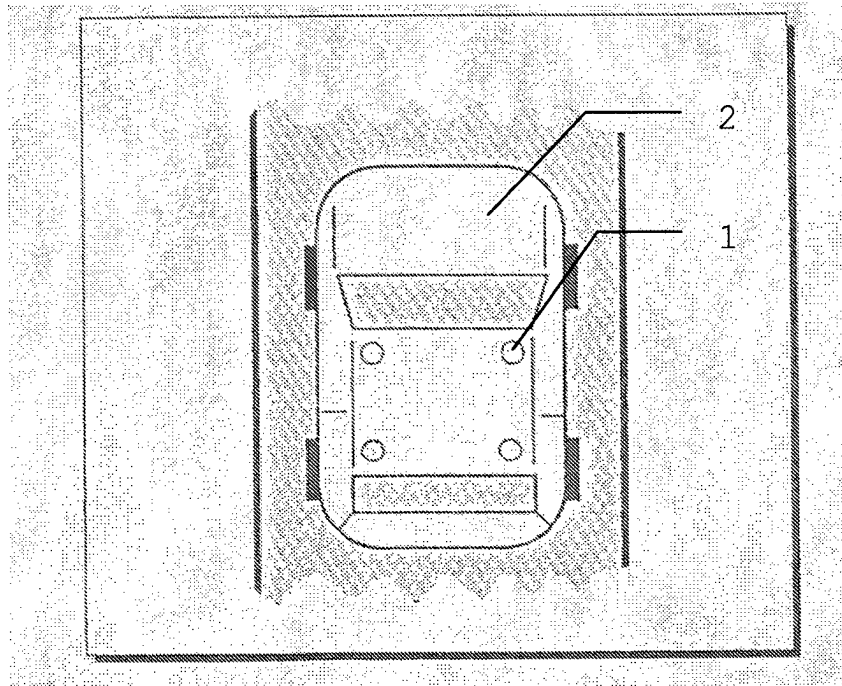


Fig. 1

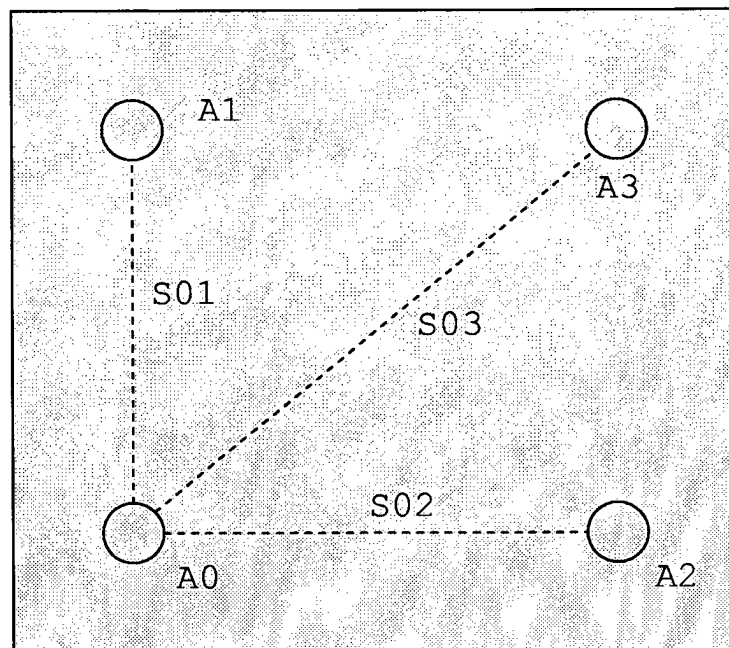


Fig. 2

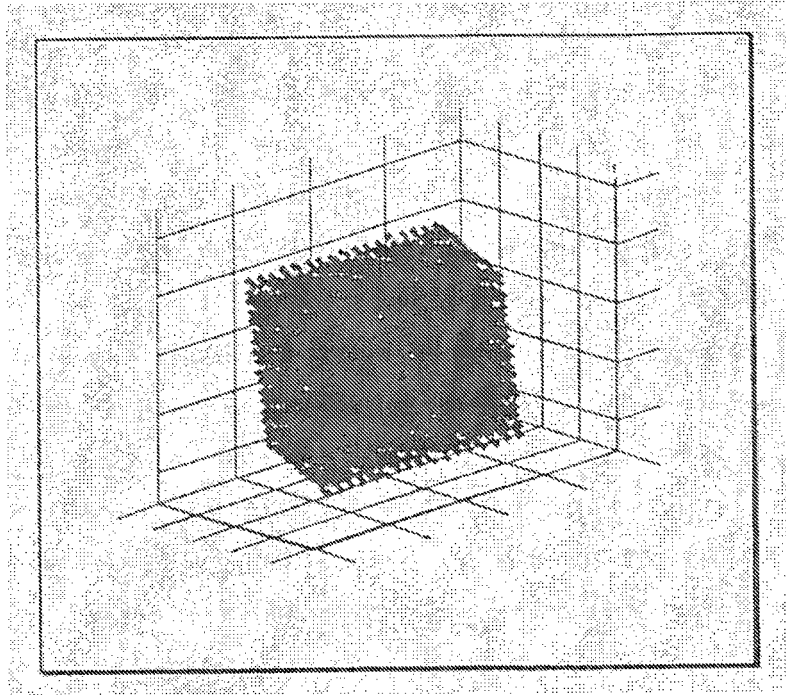


Fig. 3

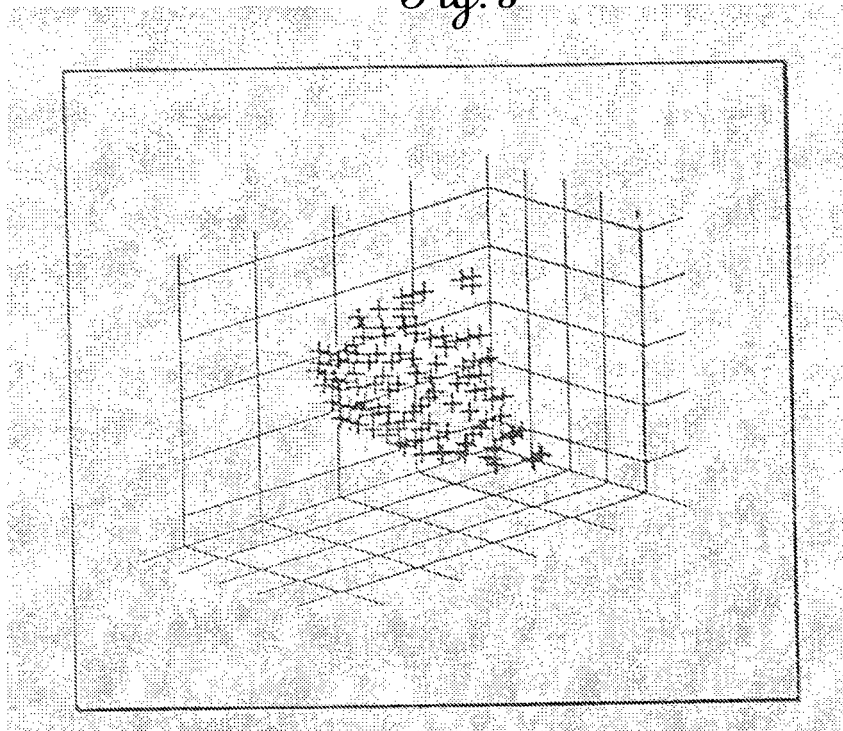


Fig. 4

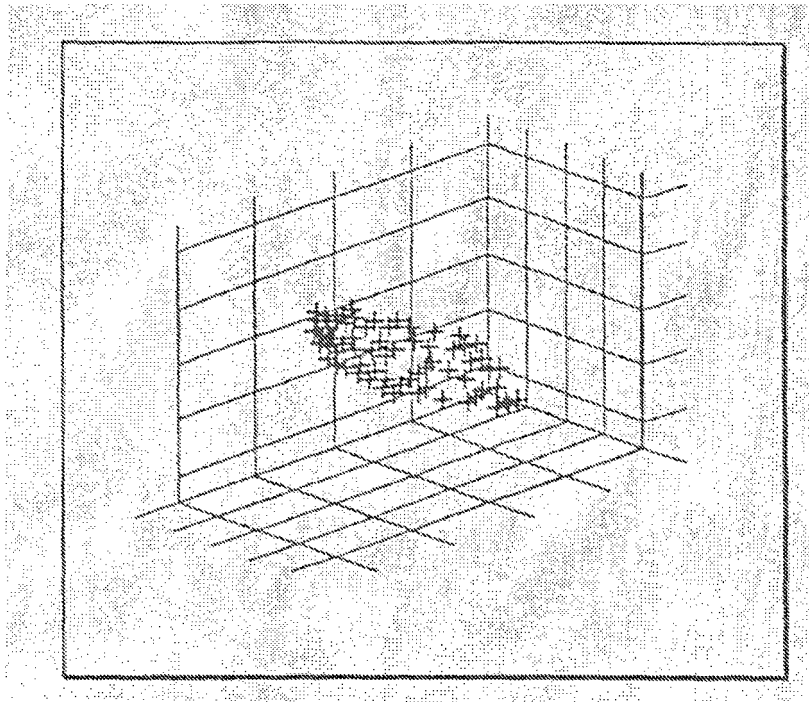


Fig. 5

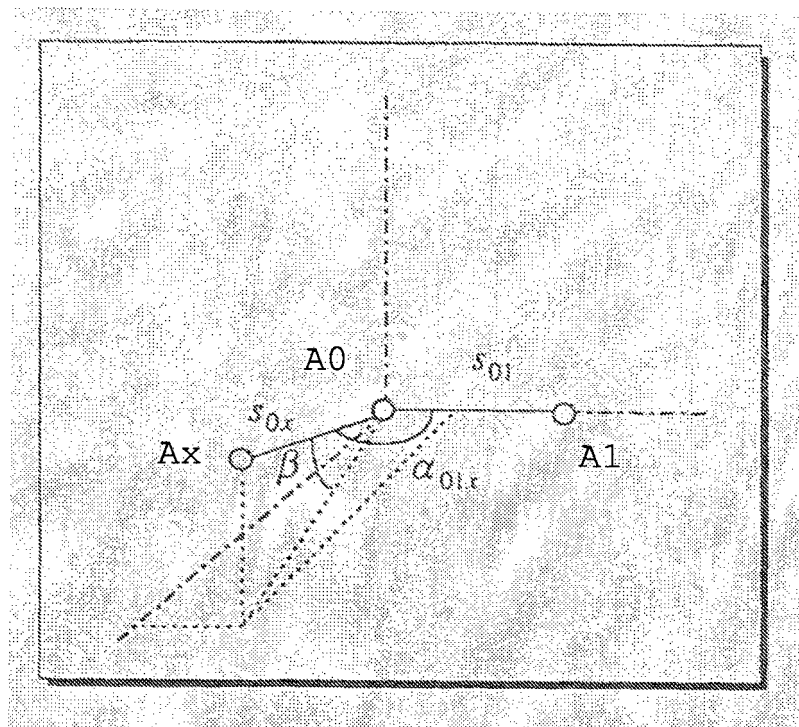


Fig. 6

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **EULER, H.-J.** GPS Attitude Determination: Utilizing Auxiliary Information to obtain Improved Results. *3rd. Int. Workshop*, 03. April 1995 **[0005]**
- **EULER, H.-J. ; HILL, CRAIG D.** Attitude Determination: Exploiting all Information for Optimal Ambiguity Resolution. *ION GPS 95*, 12. September 1995 **[0005]**
- **HILL, CRAIG D. ; EULER, H.-J.** Optimal Ambiguity Resolution Technique for Attitude Determination. *Proceedings of the 1996 IEEE Position Location and Navigation Symposium, PLANS*, 262-269 **[0007]**